

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-125497

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月15日

(51) Int.Cl.<sup>9</sup>

識別記号

F I

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

L

C 2 3 F 4/00

C 2 3 F 4/00

A

H 0 1 L 21/203

H 0 1 L 21/203

S

21/205

21/205

21/3065

C 2 3 C 16/50

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平9-152711

(71) 出願人 592010081

ラム リサーチ コーポレーション

(22) 出願日

平成9年(1997) 6月10日

LAM RESEARCH CORPOR  
ATION

(31) 優先権主張番号 08/662, 732

アメリカ合衆国, カリフォルニア 95038,  
フレモント, クッシング パークウェイ  
4650

(32) 優先日 1996年6月10日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(31) 優先権主張番号 08/661, 203

(72) 発明者 ホーランド、ジョーン ピー、

(32) 優先日 1996年6月10日

アメリカ合衆国, カリフォルニア州

(33) 優先権主張国 米国 (US)

95050、サンタ クララ、エンライト ア  
ベニュー 617番

(74) 代理人 弁理士 吉田 精孝

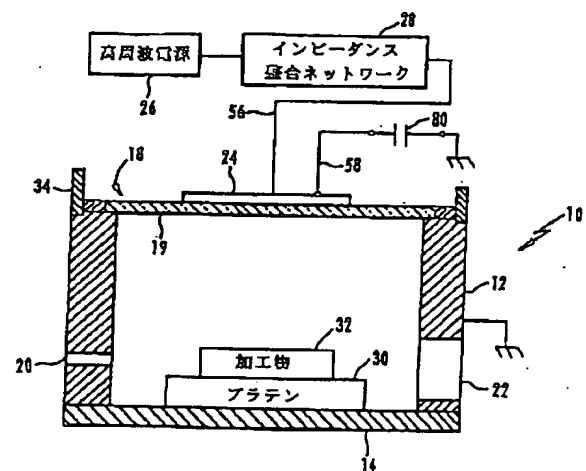
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ほぼ均一なプラズマ束を誘導するための誘導結合源

(57) 【要約】

【課題】 コイル内の分散高周波電流及び電圧が結合されて、ほぼ均一な空間プラズマ束を被処理加工物上に発生させる電磁界を発生できるようにしたプラズマ加工機を提供する。

【解決手段】 室(10)内で加工物被処理表面のための高周波真空プラズマ加工機のプラズマを励磁するコイル(24)は、半径方向に延在する複数の円弧形巻線を備えている。密度が室(10)及びコイル(24)の中心部分よりもコイル及び室の周辺部分で相当に高い磁束を室内に発生し、それによってほぼ均一なプラズマ束が加工物(32)の被処理表面に入射されるように、コイル(24)、室(10)及び加工物(32)が配置されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 加工物（32）用のホルダ（30）を備えて、イオン化できるガスの供給源にตอบสนองするように配置された真空プラズマ処理室（10）と、ガスと反応結合してガスを励起することによって、ホルダ上の加工物を処理できるプラズマ状態にするコイル（24）とを有しており、コイルは複数の巻線（40～48）を備えて、コイルの高周波付勢にตอบสนองしてガスを励起してプラズマ状態にし、コイルには内側（40～44）及び外側（46～48）の円弧形セグメントと、高周波励磁源（26、28）に接続される第 1 及び第 2 励磁端子（52、54）とが設けられており、第 1 端子はコイルの一端部及び内側円弧形セグメントの一端部に位置し、外側円弧形セグメント（46、48）は内側円弧形セグメント（40～44）から半径方向にずれた位置にあって、第 2 端子は内側円弧形セグメントとは違う円弧形セグメントの 1 つにあり、密度が室及びコイルの中心部分よりもコイル及び室の周辺部分で相当に高い磁束を室内に発生し、それによってほぼ均一なプラズマ束が加工物の被処理表面に入射されるように、コイル、室及び加工物が配置されている、真空室（10）内の加工物（32）を処理する真空プラズマ加工機であって、コイルの端子の一方は、リアクタンス（80）によって高周波励磁源に接続されており、

$x$  が、電源に接続されたコイルの入力端子から測定した直線距離、

$\beta$  が、高周波電源（26）の周波数で決定される定数、 $x^\circ$  が、高周波励磁源の周波数におけるリアクタンスのインピーダンスで決定されるゼロからのオフセット、 $V_{pkpk}$  及び  $I_{pkpk}$  が、それぞれコイル内の最大高周波高値電圧及び電流の値である時、コイル内の波高値高周波電圧  $V_{pkpk}(x)$  及び電流  $I_{pkpk}(x)$  が次式：

$$V_{pkpk}(x) = V_{pkpk} \cos[\beta(x + x^\circ)]$$

$$I_{pkpk}(x) = I_{pkpk} \sin[\beta(x + x^\circ)]$$

で概算されるようなリアクタンスの値、コイルの長さ及び周波数を有する高周波電源であることを特徴とする真空プラズマ加工機。

【請求項 2】 ある高周波周波数を有する電源（26、28）によって励磁されるプラズマで真空室（10）内の加工物（32）を処理する高周波真空プラズマ加工機であって、室内のガスと反応結合することによってガスを励起してプラズマ状態にするコイル（24）を有しており、コイルは、第 1 及び第 2 励磁端子（52、54）と複数の巻線（40～48）を備えて、高周波電源によるコイルの付勢にตอบสนองして室内のガスを励起してプラズマ状態にするように配置されており、少なくとも 1 つの回路素子（80）が励磁端子に接続されて、電源に接続できるようになっており、コイルは端子間に一定長さを備え、回路は、コイルの長さに沿って高周波周波数で大きな電流及び電圧のばらつきが生じるように選択されて

いるものにおいて、少なくとも 1 つの回路素子及びコイル配置は、電流の波高値が励磁端子付近で比較的低く、励磁端子から離れたコイル部分で比較的高くするようなものであることを特徴とする高周波真空プラズマ加工機。

【請求項 3】 ある高周波周波数を有する電源（26、28）によって励磁されるプラズマで真空室（10）内の加工物（32）を処理する高周波真空プラズマ加工機であって、室内のガスと反応結合することによってガスを励起してプラズマ状態にするコイル（24）を有しており、コイルは、第 1 及び第 2 励磁端子（52、54）と複数の巻線（40～48）を備えて、高周波電源によるコイルの付勢にตอบสนองして室内のガスを励起してプラズマ状態にするように配置されており、少なくとも 1 つの回路素子（80）が少なくとも一方の励磁端子に接続されて、電源に接続できるようになっており、コイルは端子間に一定長さを備え、回路は、コイルの長さに沿って高周波周波数で大きな電流及び電圧のばらつきが生じるように選択されているものにおいて、両方の励磁端子はコイルの内側部分に位置していることを特徴とする高周波真空プラズマ加工機。

【請求項 4】 複数の巻線を備えて、高周波付勢にตอบสนองして内部のガスを励起してプラズマ状態にするコイル（24）を有しており、コイルの巻線は、コイルが内側巻線から外側巻線まで半径方向外向きに延出するように配置されており、高周波励磁の周波数が送電線型効果を備えることができるようにする十分なコイル長さによって、少なくとも 1 つの電流最大値及び最小値がコイル長さに沿った異なった位置に存在するようにしており、少なくとも数対の隣接巻線からの磁束が加法的で、前記異なった位置が互いに隣接するようにコイルが配置されている、真空室（10）内の加工物（32）を処理する真空プラズマ加工機であって、コイルは、プラズマに対する電磁界結合係数が最小波高値電流の領域よりも最大波高値電流の領域において低くなるように配置されていることを特徴とする真空プラズマ加工機。

【請求項 5】 高周波付勢にตอบสนองして内部のガスを励起してプラズマ状態にするコイルを有しており、コイルにはほぼ同軸的な複数の巻線（171、172、173）がコイルの共通中心点から異なった半径で離設されて、コイルの高周波付勢にตอบสนองしてガスと反応結合することによって内部のガスを励起してプラズマ状態にすることができ、コイルの巻線は、コイルが内側巻線（173）から外側巻線（171）へ半径方向外向きに延出するように配置されており、複数部分は共通中心点から異なった半径上に位置する隣接端部を備えている、真空室（10）内の加工物（32）を処理する真空プラズマ加工機であって、異なった巻線の各対の隣接端部が、共通中心点に関して言えば半径方向であると共にほぼ同軸的な巻線に関して言えば円周方向に延出したほぼ直線状のリー

ド線(177、178)によって互いに接続されていることを特徴とする真空プラズマ加工機。

【請求項6】 波高値高周波電圧の大きさが、コイルの第1端子で第1極性の最大値になり、コイルの第2端子で第2極性の最大値になるように、高周波源の電源がコイルの第1及び第2端子に接続されていることを特徴とする請求項1から5までのいずれか1項記載の真空加工機。

【請求項7】 コイルは、円弧範囲がほぼ全円の最外側円弧セグメント(48)及び円弧範囲がほぼ全円の次の外側円弧セグメント(46)とを含む円弧範囲がほぼ全円の幾つかの円弧セグメントを備えており、高周波電源(26)はコイルに接続されており、最外側円弧セグメント及び次の外側円弧セグメント内の高周波電流がコイルの内側セグメント内の電流よりも相当に大きくなるようにコイルが構成されていることを特徴とする請求項1から6までのいずれか1項記載の真空加工機。

【請求項8】 高周波励磁源(26、28)がコイルの第1及び第2端子(52、54)に接続されており、コイルは、第1端子での波高値高周波電流の大きさが第2端子での波高値高周波電流とほぼ同一になるように構成されていることを特徴とする請求項1から7までのいずれか1項記載の真空加工機。

【請求項9】 第1及び第2端子の同一電流は、振幅がコイルの他のいずれの電流よりも小さいことを特徴とする請求項8記載の真空プラズマ加工機。

【請求項10】 コイルの第1及び第2励磁端子(52、54)がコイルの中心領域に配置されていることを特徴とする請求項1から9までのいずれか1項記載の真空加工機。

【請求項11】 第1及び第2励磁端子は、円弧範囲がほぼ半円の第1及び第2円弧セグメント(40、42)にそれぞれ接続されており、円弧範囲がほぼ半円の円弧セグメントはほぼ同一寸法でほぼ同心状に配置されて、第1及び第2端子が互いに隣接配置されていることを特徴とする請求項10記載の真空加工機。

【請求項12】 最内側円弧セグメント(40、42)は、コイルを2等分する中心線の直径方向において両側に配置されており、第1及び第2励磁端子(52、54)における瞬時高周波電圧がほぼ同じ大きさであるが逆の極性になるように、コイルが配置されて高周波励磁源(26、28)に接続されていることを特徴とする請求項10または11記載の真空加工機。

【請求項13】 コイルの最外側巻線(48)は、端部以外ではコイルから電気的に絶縁された直線状の導電性ストラップ(64)によって前記1つの内側セグメントに接続されていることを特徴とする請求項10から12までのいずれか1項記載の真空加工機。

【請求項14】 コイルは、ほぼ同心状のさらなる第1及び第2円弧セグメント(44、46)を備えてお

り、これらの各々は円弧範囲が約全円であって、外側円弧セグメントに直列に接続されていることを特徴とする請求項12記載の真空加工機。

【請求項15】 密度が室及びコイルの中心部分よりもコイル及び室の周辺部分で相当に高い磁束を室内に発生し、それによってほぼ均一なプラズマ束が加工物の被処理表面に入射されるように、コイル、室及び加工物が配置されており、コイルの最外側円弧巻線(48)及び次の外側円弧巻線(46)によって発生する正味磁界が、2つの外側コイル付近ではすべての角度向き及び半径においてほぼ同一であることを特徴とする先行請求項のいずれか1項記載の真空加工機。

【請求項16】 密度が室及びコイルの中心部分よりもコイル及び室の周辺部分で相当に高い磁束を室内に発生し、それによってほぼ均一なプラズマ束が加工物の被処理表面に入射されるように、コイル、室及び加工物が配置されており、コイルの最外側円弧巻線(48)及び次の外側円弧巻線(46)は、プラズマに対する高周波電圧の正味静電結合が、コイルの内側円弧セグメントによるプラズマに対する高周波電圧の正味静電結合に比べて小さいことを特徴とする先行請求項のいずれか1項記載の真空加工機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高周波真空プラズマ加工機、特に励磁高周波源の波長に対応した配置で半径方向にずれた円弧セグメントを備えた複数巻線励磁コイルを備えて、コイル内の分散高周波電流及び電圧が結合されて、ほぼ均一な空間プラズマ束を被処理加工物上に発生させる電磁界を発生できるようにしたそのような加工機に関する。

【0002】

【従来の技術】真空室の外部の装置から高周波磁界を供給することによってプラズマ加工機内のガスを励起してプラズマ状態にする様々な構造体が開発されている。高周波磁界は、容量性電極を含む電界源、電子サイクロトン共鳴器を含む電磁界源、及びコイルを含む誘導すなわち磁界源から誘導されてきた。励磁されたプラズマは、室内の加工物との相互作用によって加工物のエッチングまたはそれへの物質の付着を行う。加工物は、平面的な円形表面を有する半導体ウェハまたは固体誘電体、例えば平面パネル・ディスプレイに使用される矩形のガラス基板または金属板にすることができる。

【0003】加工物を誘導結合平面プラズマ(ICPP)で処理する加工機が、特に本発明と同一の譲受人に譲渡されているオウグル(Ogle)の米国特許第4,948,458号に開示されている。オウグル特許では、プラズマを励磁する磁界は、処理中の加工物の平坦表面にほぼ平行方向に延在する単一の平面状誘電体窓上またはその付近に配設された平面コイルから誘導される。コイ

ルは、周波数が1~100MHz（一般的に13.56MHz）の高周波源にตอบสนองするように接続されており、高周波源はインピーダンス整合ネットワークによってコイルに接続されている。コイルは、高周波源にตอบสนองするように外側及び内側端子を接続した平面線形らせんとして構成されている。コールタス(Coultas)他の米国特許第5,304,279号は、永久磁石を平面らせんコイルと組み合わせて使用しているプラズマ閉じ込めを用いた同様な装置を開示している。

【0004】クオモ(Cuomo)他の米国特許第5,277,751号及びオウグルの米国特許第5,277,751号は、平面らせんコイルをソレノイド巻きコイルに変更した上記加工機の変更例を開示している。ソレノイド巻きコイルは、誘電マンドレル等に巻装されており、複数のらせん状巻線を含み、その一部が誘電体窓表面に沿って延在している。コイルの残りの部分は誘電体窓の上方に延出している。ソレノイド巻きコイルの両端部が高周波励磁源に接続されている。

【0005】これらの誘導源は、コイルで発生して誘電体窓を介して結合させた誘導磁界を振動させることによって誘導体窓の真空側付近のプラズマ領域内にある電子を加熱することによってプラズマを励磁する。プラズマ電子を加熱する誘導電流は、平面コイル内の高周波電流で発生した高周波磁界から誘導される。磁界の空間分布は、コイルの各巻線によって発生する磁界の合計によって決まる。各巻線によって発生する磁界は、各巻線内の高周波電流の大きさによって決まる。オウグルの'458号特許に開示されているらせん構造の場合、らせんコイル内の高周波電流は、電力がプラズマに吸収されるリング形領域を生じるように分布する。リング形領域は、誘電体窓の真空側と接している。1.0~10ミリトールの低圧では、リング形領域からのプラズマの拡散によって、室の中央部分内において室の中心線に沿って窓から離れる方向にプラズマ密度のピークが生じる。10~100ミリトールの中間圧力範囲では、プラズマ内の電子、イオン及び中性子の気相衝突によって、プラズマ帯電粒子の環状領域の外側への大幅な拡散が阻止される。その結果、加工物のリング形領域内のプラズマ束が非常に高密度になるが、加工物の中心及び周辺部分では低密度になる。従って、リングとリングの内側及び外側部分の間に相当に大きいプラズマ束のばらつきがある。

【0006】チェン(Chen)他の米国特許第5,226,967号は、平面らせんコイルの中心から離れた半径方向領域におけるプラズマ密度の低下の悪影響に注目している。チェンの'967号特許では、平面コイルによって発生してプラズマに結合した磁界の強さが室の中心線に沿って低下する。誘電体窓の中心部分を窓の他の領域より厚くすることによって、このように低下させている。約20ミリトールまでの圧力では、プラズマ内へ延出している固体誘電体の厚さの増加によって、高周波電

力を吸収するリング形領域が大径化方向へ移動する。リング形領域の位置の移動によって、このプラズマ発生領域の拡散特性が変化して、被処理基板表面の直径全体にわたって、特に基板の周辺領域で拡散が均一化する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】'967号特許の装置では、誘電体窓を支持している電磁シールドが、コイルの中心付近のプラズマ束を減少させる。このプラズマ束密度の低下は、シールドがコイルとコイルに加えられた高周波電流から生じた電磁界との結合を低下させるためである。平面コイルの最大直径の巻線によって発生した磁界は、電磁シールドと最大巻線とが互いに非常に接近している場合、窓を支持している電磁シールド内に高周波電流を誘発することが多い。シールドに結合された電力は、(1)プラズマの高周波励磁の結合効率の低下、(2)コイルの最大直径の巻線によって発生した磁界は内側巻線ほど多くの磁束をプラズマに結合させないことによるリング形電力吸収領域の小径化方向への移動を引き起こす。約20ミリトールまでほぼ均一になるのは、窓が最も厚いコイルの中心の下方の領域内へ帯電粒子が拡散する結果である。しかし、圧力が約20ミリトールより高くなると、帯電粒子の拡散が大幅に減少するので、高周波励磁が小さいコイルの中心の下方のプラズマ束が、コイルの下方の他の領域のプラズマ束よりも減少する。従って、加工物の様々な部分でプラズマ束が不均一になる。

【0008】平面コイルが高周波電力をプラズマに結合させるリング形領域は、平面らせんの内側巻線を取り除くことによって大径化方向へ移動させることができる。フクサワ他は、「誘導結合プラズマにおける高周波自己バイアス特性」と題する論文(1993年12月の応用物理学のジャパニーズ・ジャーナル第32号(1993年)第6076~6079ページ、第1部、No.12(B))において、プラズマ加工機内のガスを励起してプラズマ状態にするための単巻線平面らせんコイルを開示している。ここに開示されているコイルは、内寸が120mm、外寸が160mm、厚さが0.5mmであり、真空容器の上部として機能している誘電プレートの周辺付近に配置されている。単巻線コイルの明らかな目的は、均一プラズマ密度の半径方向分散を行うことである。しかし、フクサワ他の論文の図6に示されているように、特にプラズマエッチングに必要な1キロワット程度の高周波励磁電力の場合、10ミリトールの比較的低いプラズマ加工機圧力でもプラズマ密度は特に均一ではない。フクサワ他の論文に開示されているように単巻線源を1キロワットで高周波励磁する場合、プラズマは室の中心から約4.0cmの位置に実質的なプラズマ密度ピーク( $7.5 \times 10^{10}$ イオン $\text{cm}^{-3}$ )を生じる。このピークは中心軸線の一方側だけに発生するので、プラズマの空間分布に大きな非半径方向非対称を生じる。フク

サワ他の論文に開示されている単巻線らせんは、オウグルの'458号特許に開示されている完全らせんに較べて結合領域を大径化方向へ移動させる。フクサワ他の論文の装置はさらに、完全らせんによって発生するプラズマ密度の空間分布の半径方向不均一性と同程度か、それを上回る非半径方向非対称も示す。また、単巻線コイルは、室の周辺付近のリング形プラズマ発生領域から室の中心へのプラズマ移動を拡散に頼っているため、このコイルが作動できる圧力範囲も限定される。約10ミリの圧力では、プラズマ内の帯電粒子と非帯電粒子との衝突によって、室の中心領域でプラズマ密度が激しく低下する。

#### 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の1つの態様によれば、真空プラズマ加工機は、高周波付勢にตอบสนองして加工機内のガスを励起してプラズマ状態にする複数の円弧形巻線を備えたコイルを設けている。コイルは、半径方向にずれた内側及び外側セグメントを含み、外側セグメントから誘導された磁束がコイルの中心部分から誘導された磁束よりも大きくなるように構成されている。改良型コイルから誘導された磁束の空間分布は、加工物と相互作用するプラズマ成分の空間分布の非半径方向非対称をほぼなくすように整えられている。コイルの磁束を空間的に整えることによって、1~100ミリの圧力の場合に空間的に均一なプラズマ束を励磁することができる。真空室は、電磁シールドに対するコイルの周辺部分からの磁束の結合を減少させるように最適化される。

【0010】コイルは、高周波電源の周波数（すなわち波長）において送電線効果によってコイルの長さに沿って大きな定在波パターンを発生することができる十分な長さを備えている。送電線効果のため、少なくとも1つの高周波電流最大値が、コイルの形状長さに沿ったいずれかの位置に存在する。各コイル・セグメントによって発生する磁界（これはプラズマを励磁するための誘導磁界を発生する）は、そのセグメント内に発生している高周波電流の大きさに比例する。その結果、高周波電源に接続された単一ループでは、コイルの高周波電流最大値の場所に対応した位置でプラズマ密度の非半径方向最大値が発生すると予想される。この形式の非半径方向最大値がフクサワ他の論文のデータに見られる。複数のリング・セグメントを備えたコイルの場合、プラズマ密度の空間分布は、セグメントの配置と各セグメント内に発生する高周波電流のレベルの両方によって決まる。オウグルの'458号特許に開示されている多素子型らせんコイルの場合、磁束の空間的平均がプラズマを発生し、誘電体窓の真空側の中心付近にリング形プラズマ発生領域がある。らせんの一部分に発生している高周波電流最大値によって非半径方向非対称が発生する度合いはわずかにすぎない。

【0011】本発明の改良式平面コイルでは、少なくとも数対の隣接コイル巻線の異なった領域からの磁束が加法的になるように、内側及び外側コイル・セグメントが配置されている。これらの異なった領域は互いに隣接しているため、それらからの磁束が合計されて、加工物被処理表面全体に均一なプラズマ束を発生する値に平均化される。コイルのセグメントは、内側巻線によって発生する磁束よりも多くの磁束が外側巻線によって発生するように配置されている。外側巻線に最大磁束を、内側巻線に最小磁束を得ることによって、リング形プラズマ発生領域の外径が延びる。これらのセグメントの各々について直径寸法を適当に選択することによって、加工物被処理表面に拡散してそれと均一に相互作用するプラズマ発生領域を発生する平面コイルが得られる。これらのリング・セグメントの直径は、広い作動圧力範囲、一般的に1ミリメートルから100ミリメートルまでの範囲で加工物被処理表面全体にこの均一束が発生するように調整される。

【0012】加工物被処理表面全体に均一プラズマ束を発生するためには、室のアスペクト比、すなわち加工物被処理表面と誘電プレートの底部（室の上部）の間の距離に対する円筒室の直径の比を正確に選択する必要がある。正確なアスペクト比であれば、室の上部のリング形プラズマが加工物表面に拡散して、加工物被処理表面上に空間的に均一なプラズマ束が得られる。

【0013】このため、1つの実施例では、コイルを上に取り付ける室の上表面を2cmの均一厚さの37.3cm直径の円形水晶プレートの窓だけで構成する。プラズマ室は、内径が35.6cmの金属壁を備えた円筒形容器である。平面コイルの外径は約30.5cmである。コイルの底面と室の上表面（水晶プレートの底面で定められる）との間に生じる約2.5cmのギャップによって、コイルの外側巻線内の磁束が金属室壁に大きく結合することが避けられる。平面コイルを取り囲む金属電磁シールド封入容器が、室壁の外径を越えた位置に設けられて、コイルの外側巻線内の磁束がシールド封入容器に大きく結合しないようにしている。プラズマ容器が円筒形であることは、加工物被処理表面上での均一プラズマ束の発生に役立つ。プラズマ発生領域から加工物までの間隔は、広範囲の作動圧力で加工物被処理表面上に均一束が発生できるように最適化される。上記のコイル及び室の直径の場合、誘電プレートの真空側と被処理加工物の上表面との間の間隔が約12cmである。

【0014】コイルの送電線効果のため、空間的に平均化された高周波電流がコイル内に発生して、広範囲の作動圧力で均一なプラズマ励磁を行うことができる。コイルからプラズマへの容量結合の量は十分に小さいので、加工物被処理表面上でのプラズマ束の均一性を大幅に低下させることはない。主誘導結合プラズマ源における少量の容量結合は、放電作用に有益であることがわかって

いる。誘電プレートを通じてコイル上の高周波電圧をプラズマに容量結合させることは、(1) プラズマ放電の開始、及び(2) 定常プラズマ放電の安定化に必要である。これは、容量結合は、主に低エネルギーの誘導放電内に少量の高エネルギー電子を導入するからである。プラズマに対するコイルの結合全体を低下させることなくこの程度の容量結合を設けることができるように、コイルの高周波電圧空間分布が最適化される。1つの実施例では、容量結合の最適化が、主に容量結合ピーク(すなわち、最高高周波電圧の点)がコイル中心のコイル端子にくるようにコイルを励磁することによって行われる。これらの端子は、高周波励磁源に接続されている。

【0015】本発明の別の態様によれば、真空プラズマ加工機は、高周波付勢にตอบสนองして加工機内のガスを励起してプラズマ状態にする、半径方向にずれた複数の巻線を備えたコイルを設けており、コイルによって定められた領域の中心部分から誘導された磁束がコイルによって定められた他の領域から誘導された磁束よりも少なくなるように、コイルが配置されている。従来の技術と同様に、好ましくはコイルを加工機の外側に配置して、コイルの周辺部分からガスに結合する磁束をコイルの内側部分からガスに結合する磁束より少なくするシールドによって包囲する。

【0016】一定の構造では、高周波励磁源からの高周波電流が並列に送られる複数の並列セグメントを設けている。これらのセグメントの各々は、領域の中心点の直径方向において両側に複数の円弧形部分を備えている。円弧形部分の各々は、領域の中心点から離れている。異なったセグメントの空間的に隣接した部分を通る電流が同一方向に流れるように、セグメントが配置されて電源に接続されている。好ましくは、セグメントを電源に接続する共通接点は、その領域の中心部分に位置している。

【0017】本発明のさらなる態様によれば、プラズマで加工物を処理する装置は、プラズマを形成すると共に、加工物を位置決めする真空室を有している。真空室は、加工物が処理される間は少なくとも60ミリトールの圧力にあり、電磁エネルギーを透過させる密封窓を備えている。室の外側に配置されたほぼ平面的なコイルが高周波源にตอบสนองして、高周波源によって励磁されたコイルから誘導された高周波磁界が窓を介して結合してプラズマを励磁する。コイルを金属シールドが取り囲んで、コイルからの一部のエネルギーが、窓を介して結合するのではなくシールドと結合することによって、コイルから室の周辺にほぼ整合した室の領域に結合するエネルギーが、コイルから窓の中心にほぼ整合した室の領域に結合するエネルギーに比べて大幅に減少する傾向がある。コイルは、プラズマを受ける加工物の表面全体にわたってプラズマ束がほぼ均一になるようにプラズマを励磁できるようにする、プラズマ及び加工物に対する配置及び位置を

備えている。

【0018】1つの実施例では、コイルは、シールド付近に少なくとも1つの周辺巻線を、また周辺巻線の内側に少なくとも1つのさらなる巻線を備えている。コイルは、コイルによって定められた領域の中心部分から誘導された磁束が、中心部分より外側の領域内のコイルから誘導された磁束より相当に少なくなるように配置されている。好ましくはこの実施例では、コイルは複数の巻線を、すべて窓の中心から離してシールドに近接させて設けている。

【0019】コイルは、直径方向において対向側に位置する第1及び第2端子によって電源に接続されており、窓の中心から離れてシールドに近接した位置に2つの巻線(すなわち第1及び第2巻線)だけを備えている。1つの実施例では、巻線は、窓の中心に対して同心状の円形パターンになっている。第1及び第2巻線の各々は、近接した第1及び第2端部を備えている。第1及び第2巻線の第1端部は、それぞれ第1及び第2端子に接続されている一方、第1及び第2巻線の第2端部は互いに電気接続されている。

【0020】同心状巻線の1つが周辺巻線であり、別の1つが他のすべての巻線の内側にある。各巻線は近接した第1及び第2端部を備えており、周辺巻線の第1端部が第1端子に位置し、他のすべての巻線より内側の巻線の第1端部が第2端子に位置している。周辺巻線の第2端部をそれに隣接した内側の巻線の端部に接続し、他のすべての巻線より内側の巻線の第2端部をそれに隣接した巻線の端部に接続するようにして、巻線のその他の端部を互いに接続することによって、巻線が互いに直列に接続されている。

【0021】場合によっては、最大電流の領域におけるプラズマに対する電磁界結合係数が最小電流の領域におけるものよりも低くなるように、コイルを配置する。これは、最大電流の領域における自己インダクタンスを最小電流の領域よりも低くすることによって行うことができる。あるいは、最大電流の領域における加工物からの距離が最小電流の領域よりも長くなるようにコイルを配置する。すなわち、最小電流の領域よりも最大電流の領域が加工物の平面から上方に高くなるようにコイルを配置する。

【0022】本発明の上記及びさらなる特徴及び利点は、添付の図面を参照した特定の実施例に関する以下の詳細な説明から明らかになるであろう。

【0023】

【発明の実施の形態】図1を参照しながら説明すると、半導体、誘電体または金属基板のエッチングまたは基板への分子の付着を行うために使用することができるプラズマ加工機は、接地された金属壁12と、金属の底端部壁14と、中心から周辺部まで同一厚さの誘電体窓構造体19で構成された円形の上部プレート構造体18とを

備えた円筒形の真空室10を備えている。真空室10は従来のガスケット（図示せず）によって密封されている。

【0024】励磁されてプラズマ状態になることができる適当なガスが、ガス供給源（図示せず）から側壁12のポート20を介して室10内へ導入される。室の内部は、側壁12のポート22に接続された真空ポンプ（図示せず）によって1~100ミリトールの範囲で変更可能な圧力で真空状態に維持されている。あるいは、ポート22を端部プレート14に配置してもよい。室内のガスは、適当な電源によって空間的に均一なプラズマ状態に励磁される。電源は、一般的に窓19のすぐ上に取り付けられて高周波電源26によってインピーダンス整合ネットワーク28を介して励磁されるほぼ平面的なコイル24を備えている。一般的に、高周波電源26の周波数は13.56MHzである。加工物32が、室10内において窓19の表面に平行な基板プラテン30の表面に固定される。加工物32は、直流電源（図示せず）によって与えられる直流電位を利用して基板プラテン30の表面に静電気で固定される。

【0025】平面コイル24を取り囲んで上端部プレート18の上方へ金属管すなわち缶状のシールド34が延在して、コイル24内に発生した磁界を周囲環境から電磁的デカップリングしている。図2の（A）及び（B）の実施例では、シールド34とコイル24の周辺領域との間の距離が、コイル24の周辺領域で発生した磁界のシールド34による著しい吸収を防止することができる長さになっている。

【0026】円筒形の室10の直径は、コイル24の周辺領域で発生した磁界の室壁12による吸収を防止することができる大きさである。誘電体窓構造体19の直径が室10の直径よりも大きい場合、室10の上表面全体が誘電体窓構造体19で構成されている。加工物32の被処理表面と誘電体窓構造体19の下表面との間の距離は、加工物の露出被処理表面上に得られるプラズマが最も均一になるように選択される。図2の（A）及び

（B）に示されている本発明の好適な実施例では、加工物の被処理表面と誘電体窓の下表面との間の距離が室10の直径の約0.3~0.4倍になっている。

【0027】高周波電源26の周波数と、電源に接続された端部端子間の平面コイル24の長さは、高周波送電線理論を用いてコイル内に発生する高周波電圧及び電流の作用を推定できるように定められる。平面コイルの各小セクションはその周囲の誘電体との組み合わせで、プラズマに対してゼロ以外の有限キャパシタンスを有するので、送電線効果が平面コイル内に発生する。各コイル・セクションは、コイルの長さ方向の分散インダクタンス及び分散キャパシタンスによって衰減される電気装束を形成する。平面コイルによって形成された送電線の特性インピーダンスは、平面コイルを形成している導電材料

の断面の寸法及び形、すなわち形状と共に、窓の材料の誘電定数及び厚さによって決まる。

【0028】平面コイルが送電線として作用することによって、コイルの長さ方向に定在波パターンが発生し、これによってコイルの長さ方向に高周波電圧及び電流の大きさにばらつきが生じる。コイルによって発生した磁束がこれらの高周波電流の大きさに依存している結果、コイルの様々な部分の下側の室10の様々な部分に発生するプラズマの量が異なる。その結果、平面コイルを使用して均一なプラズマを誘導するためには、コイルの各部分に流れる高周波電流の大きさのばらつきを空間的に平均化する必要がある。コイルの様々な部分のこれらの異なった電流値を空間的に平均化することによって、特にコイル24の周辺付近のコイル・セグメントの高周波電流領域でプラズマ密度が非半径方向に非対称になるのを防止することができる。平面コイル24内の高周波電流の送電線作用によって、中心のコイル・セグメントよりも周辺コイル・セグメントによって発生する磁束の量が増加する。この結果は、最大高周波電流の領域が周辺コイル・セグメントに位置するようにコイル24を高周波で励磁することによって得られる。

【0029】図2の（A）及び（B）に示されている好適な実施例では、平面コイル24はほぼ半円形の内側ループ40及び42と、ほぼ円形の周辺セグメント46及び48と、ほぼ円形の間中セグメント44とを備えている。ループ40及び42は、コイル24の半巻き部分を形成するが、ループ44、46及び48の各々は、ほぼ完全な1巻き部分を形成しており、1巻き及び半巻き部分は互いに直列に接続されている。すべてのセグメント40、42、44、46及び48は、室10の中心軸線に一致した中央のコイル軸線50と同軸的である。コイル24の中央部分の両励磁端子52及び54は、それぞれリード線56で整合ネットワーク28を介して高周波電源26の両端子に、リード線58でコンデンサ80の一方の電極を接続されており、コンデンサの他方の電極は接地されている。セグメント40の端子52の反対側の端部の端子60を導電性ストラップ64が外側ループ・セグメント48の端部端子66に接続しており、この導電性ストラップ64は、コイル24の平面よりわずかに上方の領域に配置されて、その下方に延在しているいずれのコイル・セグメントとも接触していないので、このストラップは、端子60及び66を除いてコイル24から電気的に絶縁されている。セグメント48は、端子66から360°の位置よりわずかに手前に第2端子68を備えている。端子68は、ストラップ72を介してループ・セグメント46の端子70に接続されている。ループ46は、約360°の角度範囲を有しており、ストラップ78を介してループ44の端子76に接続された第2端部端子74を備えている。ループ44は、約360°の角度範囲を有しており、ストラップ82を介し



てセグメント 42 の端子 54 の反対側の端部端子 62 に接続された第 2 端部端子 80 を備えている。

【0030】ほぼ円形のループ・セグメント 44、46 及び 48 の寸法は、電源 26 によってコイル 24 に供給される高周波電圧及び電流の波長と、加工物の寸法とによって決定される。コイル内の高周波の波長は、自由空間波長の一定の割合（一般的に 0.5~0.7）である。コイル 24 の好適な実施例では、加工物 32 の直径が円形ループ 46 の直径より小さいが、円形ループ 44 の直径より大きい。好適な実施例では、最外側ループ・セグメント 48 の直径は、コイル内の高周波電圧及び電流の波長の約 0.0248 倍である。ループ・セグメント 46 の直径はこの波長の約 0.0207 倍であり、ループ・セグメント 44 の直径はこの波長の約 0.0146 倍である。半円形のリング・セグメント 40 及び 42 の同一半径は、波長の約 0.00413 倍である。ループ・セグメント 48、46、44、40 及び 42 の有効送電線長さは、それぞれコイル内の高周波電流の波長の約 0.078 倍、0.065 倍、0.046 倍、0.0

$$V_{pkpk}(x) = V_{pkpk}^{\circ} \cos [\beta(x+x^{\circ})] \quad (1)$$

$$I_{pkpk}(x) = I_{pkpk}^{\circ} \sin [\beta(x+x^{\circ})] \quad (2)$$

但し、 $x$  は、コイルの入力端子 54 から測定した直線距離、 $\beta$  は、高周波電源 26 の角周波数（すなわち  $2\pi f$ ）を光の速度  $c$  で割った値、 $x^{\circ}$  は、コンデンサ 80 の値で決定されるゼロからのオフセット、 $V_{pkpk}^{\circ}$  及び  $I_{pkpk}^{\circ}$  は、それぞれコイルに加えられた最大高周波波高値電圧及び電流である。コイルの好適な実施例では、コンデンサ 80 の値は、 $x^{\circ}$  がコイルを流れる高周波電流の波長（ $\lambda = c/f$ ）の約 0.15~0.16 倍になるように選択される。コイル 24 の好適な実施例の場合の高周波電圧及び電流の計算値及び測定値の分布が、コイルの長さの関数としてそれぞれ図 5A 及び図 5B に示されている。

【0033】コイルの周辺セグメントの波高値高周波電流の方が中心セグメントの波高値電流より大きいため、コイル 24 の周辺領域で発生する磁束の方がコイルの中心領域で発生する磁束よりも大きい。好適な実施例では、波高値高周波電流の最大振幅は、ほぼ円形のループ・セグメント 46 で発生する。隣接のループ・セグメント 44 及び 48 とループ・セグメント 46 の波高値高周波電流の振幅、及びループ・セグメント 44、46、48 の互いの間隔は、これらの 3 ループ・セグメントからの磁束が空間内で結合して、窓 19 の真下でループ・セグメント 46 及び 48 間から中間セグメント 44 及び内側セグメント 40、42 間まで延在する比較的広い環状領域にわたって最大値を有する合計磁束密度が得られるように定められる。合計磁束はまた、角座標  $\theta$  の関数として比較的一定である。

【0034】角座標  $\theta$  は、室 10 の中心軸線を中心にした点線 100 から反時計回り方向への空間的角変位を表

13 倍及び 0.013 倍であるため、コイルの全長は波長の約 0.22 倍である。

【0031】 $j = (-1)^{1/2}$ 、 $f$  が高周波電源 26 の周波数、 $C$  がコンデンサ 80 のキャパシタンスである時、容量性インピーダンス  $Z_{cap} = 1/(j2\pi fC)$  であるコンデンサ 80 が移相すると、コイル 24 の全長にわたって電圧及び電流分布位置が移動する。コイルが加工物 32 の被処理表面上に均一なプラズマ束を与える高周波電界及び磁界を発生するように、電圧及び電流分布をコイル 24 内で移動させる。好適な実施例では、コイル端子 54 における波高値高周波電流が最小で、コイル端子 52 における波高値高周波電流に等しくなるようにコンデンサ 80 の値を選択することによって、コイル 24 の電圧及び電流を分散させる。この条件では、コイルは端子 52 及び 54 で逆の極性の最大波高値高周波電圧となり、コイルの最大高周波電流が導電性ストラップ 72 付近に発生する。コイル内の高周波電圧及び電流の分布は次式のように概算される。

【0032】

す。端子 60、80、74 及び 68 は、線 100 の一方側でそれから等角距離に位置しているのに対して、端子 62、76、70 及び 66 は、線 100 の他方側でそれから等角距離に位置している。従って、例えばコイル・セグメント 48 は、 $\theta = 0^{\circ}$  よりわずかに大きい角度  $\theta$  から  $\theta = 360^{\circ}$  よりわずかに小さい角度  $\theta$  までの  $360^{\circ}$  よりわずかに小さい空間的角範囲を備えている。端子 52 及び 54 は、それぞれ  $180^{\circ}$  よりわずかに大きい角度  $\theta$ 、及び小さい角度  $\theta$  に位置している。特定座標値  $\theta$  に沿って一定である空間平均化磁束は、 $\theta$  に沿って半径方向に対称的なプラズマを与える。2 つのほぼ半円形の同一半径のセグメント 40 及び 42 内の波高値高周波電流の振幅は、他のセグメントの電流の振幅よりも相当に小さい。セグメント 40 及び 42 は、その他のセグメント 44、46 及び 48 から誘導された磁束と空間的に平均化される十分な磁束を誘導するので、室の直径にわたって加工物 32 の被処理表面の高さにほぼ均一なプラズマ束が発生する。各セグメント内の波高値高周波電流の振幅が角距離  $\theta$  の関数として図 6 にグラフ表示されている。

【0035】図 6 からわかるように、コイル 24 の高周波波高値電流の最高値は、(1) ループ・セグメント 46 全体、(2) ループ・セグメント 48 の端子 68（セグメント 48 がストラップ 72 を介してセグメント 46 に接続される位置）から  $\theta = 180^{\circ}$  よりわずかに小さい角度  $\theta$  までの部分、すなわち  $180^{\circ}$  を幾分超える角度範囲の部分、(3) ループ・セグメント 44 の端子 76（セグメント 44 がストラップ 78 を介してセグメント 46 に接続される位置）から角度  $\theta$  までの部分、



すなわち $180^\circ$ より幾分狭い角度範囲の部分である。最低電流は、端子52及び54（ここでは同じ）の位置と、内側ループ40及び42に沿った位置である。この電流分布のため、コイル24の内側ループ・セグメント40及び42から誘導された磁束は、外側ループ部分46及び48からの磁束より相当に小さくなり、加工物上に均一なプラズマ束を与えるのに役立つ。

【0036】平面コイル24の様々な部分間（例えばループ・セグメント46及び48の同一角座標位置 $\theta_i$ にある部分間）に発生する電圧とプラズマとの静電（すなわち容量）結合が、発生プラズマ束の均一性に影響を与えることがわかっている。これらの電圧とプラズマとの容量結合は、コイル・セグメントに発生する波高値電圧の大きさと共に、コイルをプラズマから隔てる窓19の厚さ及び誘電材料によって決まる。コイルの好適な実施例では、端子52及び54に最高の高周波波高値電圧を発生させることによって、高周波電圧で発生した容量性電流の影響を最小にしている。コイル24の形状と、コイルに直列に接続されたコンデンサ80の値の適切な選択によって、そのような結果が得られる。同一長さで同一半径の内側半円形セグメント40及び42は、それらの端部の端子52及び54が線100の直径方向において両側に位置するように向きが定められている。端子52及び54をこれらの場所に配置することによって、これらの高い高周波波高値電圧点の効果が最小になる。これは、いつでも端子52及び54における電圧は振幅がほぼ互いに同一であるが、逆の極性であるためである。このため、2つの逆極性電圧の効果がプラズマ内でほぼ相殺される。コイルによって発生した磁界をプラズマに十分に結合させながら、コイル24の様々な部分間の高周波電圧とプラズマとの静電結合を最小に抑えるため、誘電体窓19を水晶にして、厚さをほぼ0.8インチにするのが好ましい。

【0037】平面コイル24を高周波励磁することによって、基板32の全体にわたって、多くの場合にディスク形になる比較的均一な束のほぼ平面的なプラズマが発生する。形状に関係なく、基板32の外縁部寸法をプラズマ加工機室10の内部寸法よりわずかに小さくする。コイル24は、基板32の被処理表面に入射するプラズマ束の密度が基板全体の平均プラズマ密度の $\pm 2.5\%$ 以内になるように構成される。コイル24の中心部分の磁束がコイルの周辺及び中間部分から誘導される磁束よりも小さいため、この均一性が得られる。コイル24の形状及び高周波励磁方法によって、1~100ミリの圧力範囲内で基板32の被処理表面上に均一なプラズマ束が得られる。

【0038】図4は、プラズマ加工機室10の好適な実施例について、2.0~30.0ミリの範囲内の様々な圧力において200mm直径のディスク形基板の底面の上1.0cmで測定した測定イオン電流均一性

を示すグラフである。図3からわかるように、基板全体の平均プラズマ密度の $\pm 2.5\%$ 以内のプラズマ密度均一性がある。図3は、200mmウェハ半導体を平面コイル24の上記の好適な実施例を用いて15ミリのエッチングした場合のエッチング速度の空間的ばらつきを示す上面図である。図3からわかるように、基板は2.3%程度の均一性でエッチングされている。

【0039】図7~図13、及び図16の実施例では、窓18、コイル24及びシールド34は、コイル及びシールドの直径が図2A及び図2Bの実施例の場合よりも互いに近くなり、コイルから、特にコイルの周辺領域から誘導された高周波エネルギーの多くをシールドが吸収するように構成されている。図7~図13、及び図16の各実施例では、コイルの少なくとも一方の端子がリアクタンスに接続されている。方程式(1)及び(2)を満たしてコイル長さに沿って少なくとも1つの電流最大値を発生するように、リアクタンスが選択され、コイル長さが定められる。

【0040】このため、コイル24の周辺部分から室10内のシールド34寄りで側壁12に近いガスに結合する磁束の量が、室10のその他のガスに結合する磁束よりも少なくなる傾向がある。従って、室10の内側部分のガスは、室の周辺部分のプラズマ束よりも相対的に大きい束のプラズマになるように励起される傾向がある。室10の周辺及び加工物32の周辺付近のプラズマ束が、室及び基板の中心の方のプラズマ束よりも相対的に小さくなる傾向がある。従って、基板のエッチング及び基板への物質の付着は、基板の中央部分がその周辺部分よりも大きくなる傾向がある。これは特に、室10の高圧真空作動、すなわち15~60ミリの圧力で作動する時に言える。

【0041】図7~図13、及び図16の実施例によれば、平面コイル24の高周波励磁から得られる平面プラズマは、プラズマ加工機室10の内部寸法よりも縁部寸法が幾分小さい基板32の露出被処理表面の全体にわたって比較的均一である。図7~図13及び図16の実施例では、コイル24は、基板に入射するプラズマの密度が基板の被処理表面全体で平均プラズマ束密度の約 $\pm 2.5\%$ 以内になるように構成される。図7~図13及び図16の各コイルにおいてコイル24の中心部分の磁束を従来技術よりも減少させ、それによって中心部分の磁束をコイルの周辺及び中間部分から誘導される磁束よりも小さくすることによって、この均一性が得られる。コイルの中心部分の磁束を最小にすることによって、基板全体にわたるプラズマ束がほぼ一定に保持される。図7~図16の実施例の平面コイル24は、プラズマ・ホット・スポットが発生しやすいコイル部分から誘導される磁束が最小になるように構成されている。

【0042】図7は、2つの電氣的に並列なセグメント110及び112をそれぞれリード線114及び116

によってリード線 56 を介して端子 52 に接続されている形式の平面コイル 24 の上面図である。リード線 114 及び 116 の接続は、これらのリード線内の電流が室 10 内のプラズマにほとんど影響しないように行われる。そのような結果は、リード線 56、114 及び 116 を窓 19 及びコイルの平面に直交する方向に延在するように配置するか、リード線 114 及び 116 をコイルの平面に平行となるが、コイルとリード線との間に金属ディスク 118 を介在させることによってコイルから電氣的及び磁氣的に絶縁されるように配置することによって達成することができる。それぞれコイル及びリード線に接触したディスク 118 の両側の平面は、誘電被膜（図示せず）で被覆されている。リード線 56 は、誘電被覆金属ディスク 118 の中心位置の端子に接続されている。

【0043】コイル・セグメント 110 及び 112 の各々は、それぞれ円弧範囲が約  $175^\circ$  で半径が異なったほぼ半円形の 3 つの直列接続コイル部分を備えている。3 つの半円形部分は、幾分円周方向に傾いた半径方向に延在する 2 つの直線状リード線で互いに接続されている。このため、コイル・セグメント 110 は、円周方向に傾いた半径方向に延在する直線状リード線 124 及び 125 で互いに接続されている、軸線 120 からの半径がそれぞれ  $R_1$ 、 $R_2$  及び  $R_3$  のコイル部分 121、122 及び 123 を備えている。コイル部分 121 及び 123 は、基材の中心軸線 120 の同じ第 1 側に位置しており、コイル部分 122 は軸線の直径方向の反対の第 2 側に位置している。同様であるが逆に、コイル・セグメント 112 は、円周方向に傾いた半径方向に延在する直線状リード線 130 及び 131 で互いに接続されている、軸線 120 からの半径がそれぞれ  $R_1$ 、 $R_2$  及び  $R_3$  のコイル部分 127、128 及び 129 を備えている。コイル部分 128 は直径方向においてコイル部分 127 及び 129 の反対側に位置しており、これらのコイル部分 127 及び 129 は軸線 120 のコイル部分 122 と同じ側にある。コイル部分 121 及び 127 の共通半径  $R_1$  は、ディスク 118 の半径よりわずかに大きいので、半円形コイル部分 121 及び 127 からの磁束が室 10 内へ効果的に結合する。半径  $R_1$ 、 $R_2$  及び  $R_3$  の値は、室 10 内のプラズマで処理する基材の半径に対応させる。例えば、半径が 10 cm の円形基板を加工する場合、 $R_1$ 、 $R_2$  及び  $R_3$  の値は 7.5 cm、10 cm 及び 12.5 cm 程度である。

【0044】中心軸線 120 の特定側のほぼ半円形部分 121～123 及び 127～129 の各々の端部点はほぼ整合しており、円周方向に傾いた半径方向に延在する直線状のリード線 124、125、129 及び 130 に接続されている。コイル部分 121～130 は、電流が軸線 120 の一方側のコイル部分を同じ第 1 方向に、軸線の反対側のコイル部分を反対の第 2 方向に流れるよう

に空間的配置されている。外側すなわち周辺コイル部分 123 及び 128 の端部は、それぞれ適当な可変インピーダンス 132 及び 134 を介してリード線 58 に接続された端子に接続されている。図示の実施例では、インピーダンス 132 及び 134 が、それぞれ抵抗 133 及び 135 に直列に接続されたコンデンサ 131 及び 133 として構成されているが、誘導性インピーダンスを用いることもできる。インピーダンス 132 及び 134 の値が、コイルの 2 部分 121～123 及び 127～129 内に発生する高周波定在波の位置を設定する。コイルの端部点に発生する高周波電流の大きさは、インピーダンス 132 及び 134 の形式及び値を適当に調節することによって同一値に設定されることが多い。

【0045】並列のコイル・セグメント 110 及び 112 の送電線特性のため、これらのセグメント内に電流及び電圧の最大値及び最小値がある。電流最大値は、外側コイル部分 123 及び 129 内で互いに直径方向に向き合っており、コイル・セグメント 110 及び 112 の端部点から約 30 空間度にある。(1) 電流最大値が金属缶 34 に最も接近したコイル部分内に発生すること、

(2) 軸線 120 の特定側のコイル部分内を同一方向に流れる電流から生じるコイル部分からの磁束の加法的効果、及び (3) コイルによって定められた領域の中心に最小磁束が存在し、この磁束は室 10 内の窓のすぐ下側でガスに結合されるように  $R_1$  の値が定められているため、室 10 内の窓のすぐ下側のガスに結合する磁束は、室の周辺よりも室の中心で低くなる。窓 19 のすぐ下側では、室の中間部分と周辺部分との間の磁束が比較的均一である。従って、窓 19 のすぐ下側のプラズマ束には、室の周辺部分の窓のすぐ下側のプラズマ束よりも小さくなる傾向がある。プラズマ束は、窓 19 から離れた領域では室の中心に向かって拡散し、基板 32 の露出した被処理表面全体で比較的均一になる。

【0046】図 7 と同様であるが、3 つの並列コイル・セグメント 131、132 及び 133 を設けた別の並列コイル配置が図 8 に示されており、各セグメントの一端部はリード線 56 に接続された端子に接続され、第 2 端部は可変インピーダンス 137 を介してリード線 58 で端子 54 に接続されている。各インピーダンス 137 は、図 7 のインピーダンス 132 及び 134 と同様であって、それらと同じ機能を実行するように調整されている。コイル・セグメント 131～133 の各々は、第 1、第 2 及び第 3 の円弧形整合部分を備えており、その各々は  $120^\circ$  よりわずかに小さい、すなわち約  $117^\circ$  の円弧範囲であって、円周方向に傾いて半径方向に延出した 2 つの直線部分を備えている。第 1、第 2 及び第 3 の円弧形部分は、半径がそれぞれ  $R_1$ 、 $R_2$  及び  $R_3$  である。コイル・セグメント 131～133 は、高周波電流が整合円弧形部分を同一方向に流れることによって被処理基材上に加法的磁束関係及びプラズマ束の均一性が

得られるように配置されている。コイル・セグメント131～133内の電流最大値は、コイル・セグメントの端部点から約30空間度の半径 $R_3$ の部分に生じる。このため、半径 $R_3$ のコイル・セグメント内の磁束が最大であり、金属缶34が室10内に結合する磁束を減少させようとする傾向を抑える。

【0047】図9に示されている好適な並列構造は、4つのコイル・セグメント141～144を備えており、それぞれがリード線56に接続された端子に接続されていると共に、可変インピーダンス145を介してリード線58に接続された端子に接続されており、各インピーダンス145は図7のインピーダンス132及び134と同じ機能を実行するように調整されている。コイル・セグメント141～144の各々は、4つのコイル部分を備えている。各コイル部分は、円弧範囲が約90°であって、値が順次大きくなる異なった半径 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ を備えている。半径 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ のコイル部分は、円周方向に傾いてほぼ半径方向に延在する直線状のコイル部分で互いに接続されており、個々のコイル・セグメントにおいてこれらは互いに90°ずれている。コイル・セグメント141～144では、個々のコイル・セグメントの円弧形部分を連結する円周方向に傾いた半径方向の直線セグメントが、それらの長手方向軸線が互いに平行になるように整合している。

【0048】コイル・セグメント141～144の配置、及びそれらとリード線56及び58に接続された端子との接続は、軸線120に対して同一象限内にあるこれらのコイル・セグメントを流れる電流が同一方向になるように行われる。半径 $R_4$ は、セグメント141～144の円弧形部分を流れる電流から生じる磁束が互いに相殺する傾向を持つように選択される。これによって、コイルによって定められた領域の中心に誘導される磁束が比較的小さくなる。しかし、半径 $R_5$ 、 $R_6$ 及び $R_7$ は、コイル・セグメント142～144の同一象限の隣接部分を流れる電流から生じる磁束が加算されて、室10の周辺部の磁界に対する缶34の影響を抑えることができるように選択される。このため、 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ 及び $R_7$ の値は、20cm半径の基板の場合にそれぞれ30cm、25cm、15cm及び4cmであることが好ましい。電流最大値は、コイル・セグメント141～144の半径 $R_7$ の外側すなわち周辺部分の、各コイル・セグメントの端部から約30空間度の位置に発生する。

【0049】さらなる変更例の上面図が図10に示されており、これでは、外側コイル・セグメント151がリード線56に接続された端子に接続され、またリード線58に接続された接地端子に可変インピーダンス154で接続された2つの並列コイル・セグメント152及び153と電気的に直列に接続されている。各インピーダンス154は、図7に関連して説明したインピーダンス

132及び134と同様に構成されて、それらと同じ機能を実行するように調整されている。コイル・セグメント151～153の各々は、円弧範囲が360°よりわずかに小さく、値が順次小さくなる異なった半径 $R_8$ 、 $R_9$ 及び $R_{10}$ を備えており、1つの好適な実施例では、25cm半径の基板の場合の半径 $R_8$ 、 $R_9$ 及び $R_{10}$ がそれぞれ約26.7cm、25cm及び24cmである。コイル・セグメント151の端子56の反対側の端部点156が、中心の軸方向端子158に接続されており、この端子158は半径方向のリード線159及び160でコイル・セグメント152及び153の端部点161及び162に接続されている。リード線157及び158を流れる電流から生じる磁束は、図7で説明したような絶縁金属ディスクによって室10内のガスから遮蔽されている。

【0050】コイル・セグメント151～153の隣接部分内の瞬時電流は同一方向に流れ、これらの電流から生じる磁束は加法的である。缶34の磁束減衰特性に打ち勝つため、コイル・セグメント151内の電流の値は、コイル部分152及び153の各々を流れる個別電流の2倍である。図10のコイルで誘導される磁束は、コイルの中心で最小値になる。コイルの中心のリード線158よりも缶34の方に相対的に近いコイル・セグメント151～153を流れる電流から生じる磁束の結合加法的効果のため、室内のプラズマ束が比較的一定になる。

【0051】図11は、本発明のさらなる変更例の上面図であり、平面コイル24は2つの円形セグメント160、162を備えており、それぞれ円弧範囲が360°よりわずかに小さく、室10及び被処理基板の中心を通る共通の中心軸線164からの比較的大きい半径が $R_{11}$ 及び $R_{12}$ である。コイル・セグメント160及び162は、それぞれリード線56及び58に接続された端部端子166及び168を備えている。コイル・セグメント160及び162の他方の端部は、円周方向に傾いた半径方向の直線状リード線170によって互いに接続されている。半径 $R_{11}$ は被処理基板の半径よりわずかに大きく、 $R_{12}$ はそれよりわずかに小さくなっている。

【0052】コイル・セグメント160及び162は、これらの2つのコイル・セグメントの隣接した扇形部分を流れる電流が同一方向に流れて、室10内のガスと相互作用する加法的磁束を与えるように配置されている。セグメント160及び162によって形成されたコイルは、1つの円形コイルであると見なされる。半径 $R_{12}$ の値を十分に大きくして、軸線164の両側で対向方向に流れる電流が発生する磁束を互いに十分に離すことによって、大きな相殺効果を避ける一方、コイルの中心の磁束が外側コイル・セグメント162によって定められる領域の他のいずれの部分よりも小さくなるようにすることができる。一般的に、これらの結果を得るための $R_{11}$

の最小値は5 cmである。コイル・セグメント160及び162で発生した合計磁束は、缶34が磁束の周辺部分を減衰させようとする傾向を抑えるのに十分な大きさである。セグメント160及び162によって形成されたコイルの中空性のため、それらを流れる電流から生じる磁束は、プラズマ束を被処理表面の直径全体にわたって比較的均一することができる。

【0053】図12は、3つの円形セグメント171、172及び173を用いたさらなる中空コイルの実施例の上面図であり、これらのセグメントは室10及び被処理基板32の中心に一致した中心軸線174からそれぞれ半径方向距離 $R_{13}$ 、 $R_{14}$ 、 $R_{15}$ だけ離れている。

$R_{13}$ 、 $R_{14}$ 、 $R_{15}$ の値は順次小さくなり、最小半径の $R_{15}$ は5 cmである。一般的に、被処理基板32の半径はほぼ $R_{14}$ （すなわち $R_{13}$ と $R_{15}$ の間）であるため、コイル・セグメント172は被処理基板の外周にほぼ一致するが、コイル・セグメント171及び173は、被処理基板の外周のそれぞれ外側及び内側に位置している。

【0054】コイル・セグメント171及び173は、それぞれリード線56及び58に接続された端部端子175及び176を備えている。コイル・セグメント171及び173の端部端子175及び176の反対側の端部は、それぞれ円周方向に傾いた半径方向の直線リード線177及び178によってコイル・セグメント172の端部に接続されている。

【0055】電流はコイル・セグメント171、172及び173の隣接扇形部分内を同一方向に流れるので、これらのコイル・セグメントから誘導された磁束は加法的で、缶34の効果を抑えることができ、被処理基板上に比較的均一なプラズマ磁束を与える。これによって得られた磁界は、軸線174上及びその付近が最小値となり、コイル・セグメント172付近がピーク値になる。中空コイルの中心と磁束がピーク値になるコイル・セグメント172の下側との間の磁束の変動は、被処理基板上のプラズマ束がほぼ±2.5%で一定になるように定められる。

【0056】図7～図12の実施例のすべてにおいて円周方向に傾いた半径方向に延在したリード線は、半径方向だけではなくこれらの両方向に延在しているが、半径方向のリード線にすると、比較的大きい高周波電流（例えば10台のアンペア）を搬送する導体に直角の曲がりが必要になるためである。図7～図12のコイルに直角の曲がり設けることは、そのような曲がりから生じる高周波磁界の性質の点から不都合である。直角の曲がり、高周波電流路に非常に急激な変化を生じる。急激な電流路の変化は、大きな磁界を発生しやすく、これは室10内の磁界及びプラズマ束の均一性に悪影響を与えるであろう。

【0057】図13は、3巻きの等辺らせんとして構成された中空コイル180の上面図であり、最小半径の内

側端部端子182は軸線181からかなり離れている。軸線181は、室10及び被処理加工物の共通軸線と一致している。コイル180の3巻きは、中心軸線181からの平均半径が $R_{13}$ 、 $R_{14}$ 及び $R_{15}$ であって、 $R_{14}$ が基板の半径とほぼ同じであり、 $R_{13}$ は $R_{14}$ より幾分小さく、 $R_{15}$ はそれより幾分大きい。らせんコイル180の端部端子182及び183は、それぞれリード線56及び58に接続されている。端部端子182は、 $R_{13}$ よりわずかに少ない量だけ中心軸線181から半径方向にずれている一方、端部端子183は、 $R_{15}$ をわずかに超える量だけ軸線181から半径方向にずれている。端部端子182及び183は、軸線181から延出したほぼ同一の半径方向線上に位置している。コイル180の3巻きを流れる電流は、室10内のプラズマに加法的磁束を発生するため、室10の半径 $R_{13}$ 及び $R_{15}$ 間の領域において磁束がほぼ一定になる。

【0058】端部端子182と軸線181とが比較的大きく離れていることと、巻線171～173内の電流の関係から、図13のコイルの中心の磁束が最小であり、磁束はそれから増加して、外側巻線171に近い室10の外側領域で最大になる。缶34の磁束遮蔽性のため、室10の外側で巻線171に近接した磁束の大部分が室10内のプラズマと結合しない。その結果、均一な磁界がプラズマの外側部分に結合され、低磁界がプラズマの中心部分に結合される。室10内において室壁に幾分近く窓19に接した高いプラズマ束は室の中心の方へ拡散するため、加工物の被処理表面に入射するプラズマ束はほぼ均一である。拡散が発生するのは、2領域でのプラズマ束（プラズマ密度とプラズマ粒子速度の積）の差異のため、また（1）加工物被処理表面と窓19の下面との間の空間、及び（2）室10の内壁の直径の相対値のためである。

【0059】図13のらせんコイル配置及び図11及び図12の円形コイル配置は、所望の巻数に変更することができる。また、基板に入射するプラズマ束の必要な均一性が得られるように、コイルの中心の開放領域の大きさを調節することができる。

【0060】図7～図13の平面コイルからの誘導結合に応答してプラズマが室10内に発生する効率は、コイル内を流れるプラズマ高周波電流間の電磁結合の量と、プラズマに結合される高周波磁束の振幅とによって決定される。結合は、主に2つの要素、すなわち（1）コイルをプラズマから隔離する材料の誘電定数と、（2）コイル及びプラズマ間の分離距離によって決まる。

【0061】図7～図13の実施例の各々のコイルの送電線効果のため、コイルの様々な部分における高周波高値電流の大きさが異なっている。本発明の1つの特徴は、図7～図13の平面コイル内の高周波電流が変動するのにも関わらず、空間的に均一なプラズマ束が室10内に得られることである。均一なプラズマ束は、最大高

周波高値電流のコイル部分間の電磁結合を減少させることによって得られる。本発明の 1 つの態様によれば、平面コイルを誘導体窓 19 に対して傾斜させることによって、最大及び最小電圧レベルのコイル部分から異なった電磁結合が得られる。

【0062】図 7～図 13 の各々に示されている形式の平面コイルは、誘導体窓 19 に平行な向きに取り付けられており、室 10 内のプラズマに 2 つの不均一成分、すなわちコイル、誘電体窓、真空室及び基材の共通中心からの半径方向距離を  $R$ 、特定の半径方向向きに対して測定した角度を  $\theta$  とする時、(1) 半径方向成分  $f(R)$  と、(2) 角度成分  $f(\theta)$  を生じる。ほとんどの場合、1 対の互いに直交する軸線 A 及び B を、角度依存プラズマ不均一性  $f(\theta)$  が軸線 A に偽線形依存関係を持ち、軸線 B からほぼ独立するように選択する。角度依存性のプラズマ不均一を最小限に抑えるため、コイルを軸線 B に沿って配置して、コイルの平面と誘電体窓 19 との間の距離が、最大プラズマ束に対応した領域で最大になるようにする。コイル平面と窓 19 との間を約  $9 \sim 18^\circ$  の傾斜角度にすれば、最も均一なプラズマ束を発生できると考えられる。

【0063】図 7～図 13 の平面コイルを、コイル平面が窓 19 の平面に平行になるように配置したとすると、室 10 内のプラズマ束が図 14 の三日月形領域 188 内で最大になりやすくなるであろう。領域 188 は、円の円周の扇形と同様な曲率の円弧縁部 189 と、189 側よりも相当に小さい曲率の円弧縁部 187 とを備えている。両縁部 187 及び 189 は、軸線 A でほぼ二等分されるため、領域 188 は軸線 A に沿って最大幅を備えており、この軸線 A はほぼ室の軸線 190 に沿って軸線 B と交差する。

【0064】この傾向を抑えるため、図 7～図 13 のいずれの平面コイルも、コイルの周縁部が軸線 A と、軸線 190 を中心として、曲率が縁部 189 よりも相当に大きい円周になるようにした半径の円の円周 191 との交点で窓 19 に接するように、窓 19 に対して上向きに傾斜させることができる。平面コイルの直径方向の反対縁部は、コイルが接する円上の点の反対側で軸線 A と円周 191 とが交わる点にほぼ整合してその上方に位置している。軸線 B を挟んで領域 188 の反対側にある軸線 A と平面コイルは三日月形領域 188 から離れているので、領域 188 が形成される傾向が全般的に抑えられ、被処理加工物表面上にほぼ均一なプラズマ束が得られる。

【0065】これを達成するための構造が、図 15 に概略的に示されており、図 7～図 13 に示されている形状のいずれでもよい平面コイル 190 の平面が、窓 19 の上方へ  $9^\circ \sim 18^\circ$  傾斜している。コイル 190 は、電流が最大波高値となる場所が領域 188 の真上に位置して、最大電流の影響を軽減し、被処理基板上のプラズマ

束を均一にするように配置されている。

【0066】缶 34 の影響及び波高値電流のばらつきから生じる磁界のばらつきを抑えながら、比較的均一な密度のプラズマを発生する磁界を提供する別の方法として、図 7～図 13 のコイルの自己インダクタンスをコイルの長さ方向に沿った位置の関数として変化させるものがある。公知のように、ワイヤの自己インダクタンスは、ワイヤの断面積に反比例する。本発明の 1 つの態様は、この原理に基づいて、室 10 の周辺で磁界を最大にし、室の中心で磁界を最小にし、領域 188 の磁界を減少させる。

【0067】図 16 の実施例ではこの効果は、図 12 のコイルと同じ全体形状のらせんコイル 192 を、(1) 中心軸線 192 に近い内側端子 194 及びその付近で最小断面積、(2) 周辺部分 198 で最大断面積、(3) 領域 188 に垂直方向に整合したコイル部分 202 を除いた中間部分 200 で平均断面積、(4) 領域 188 の上方のコイル部分 202 で平均より小さい断面積（最小断面積より大きい）になるように構成することによって達成される。この原理は、図 2～図 13 のコイル実施例のいずれにも適当に利用することができる。好ましくは、コイルを形成する一定幅の矩形断面のワイヤ・リード線の厚さを増減させることによって、断面積を変化させる。他の同様な変更構造も利用でき、例えば一定厚さの矩形断面のリード線の幅の変化、矩形断面リード線または正方形断面リード線の厚さ及び幅の変化、または円形断面リード線の直径の変化がある。

【0068】図 2～図 13 のコイルを窓 19 の上方の多くの異平面上に配置し、(1) コイル周辺部分が窓の平面に最も接近し、(2) コイル内側端子及びそれに最も近いコイル部分を他のいずれのコイル部分よりも窓の平面から最も離し、(3) 領域 188 に垂直方向に整合していない中間部分 200 を窓の平面から平均的な分離距離にし、(4) 領域 188 に垂直方向に整合したコイル部分の窓の平面からの分離距離を、窓の平面から最も離れたコイル部分とコイル及び窓間の平均的な分離距離の間にするによって同様な効果を得ることができる。しかし、この方法の明らかな欠点は、そのようなコイルの製造及び維持に伴った難しさに関するものである。

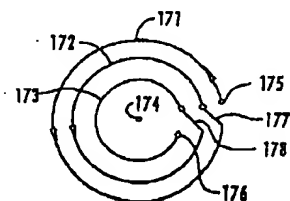
【0069】以上に本発明の特定の実施例を説明してきたが、添付の請求項に定義された発明の精神の範囲内において上記実施例の詳細に様々な変更を加えることができることは明らかである。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明を用いた形式の真空プラズマ加工機の概略図である。

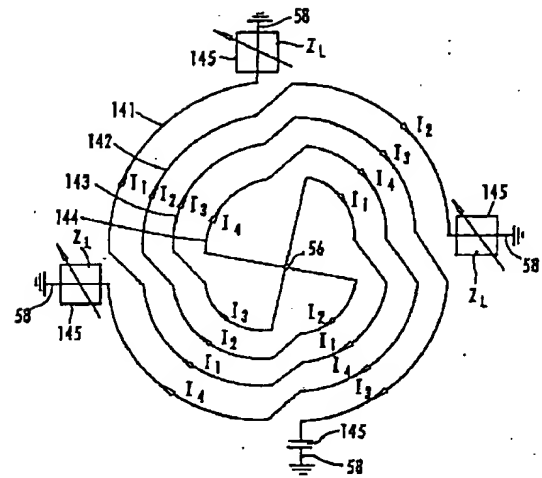
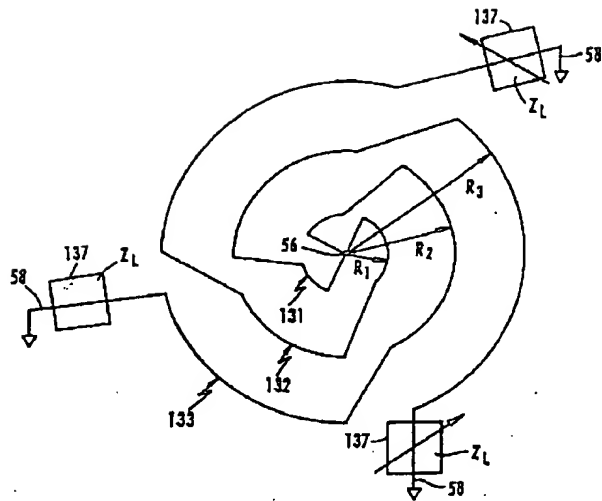
【図 2】図 1 の加工機に含まれる平面コイルの好適な実施例のそれぞれ (A) 上面図及び (B) 斜視図であり、コイルは分割形中心部分と、コイルの周辺部近くの 1 組のリング部材と、中間直径位置の第 3 リング部材とを備



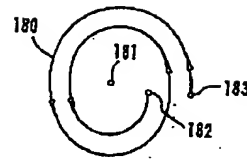
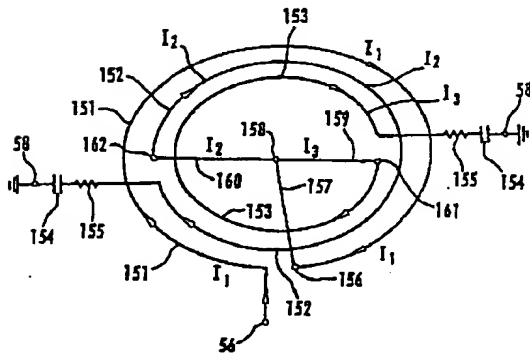




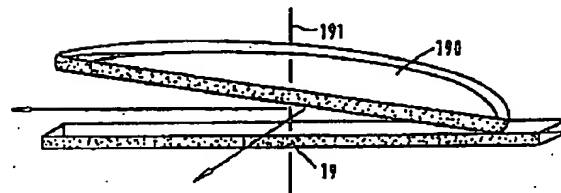
【図 9】



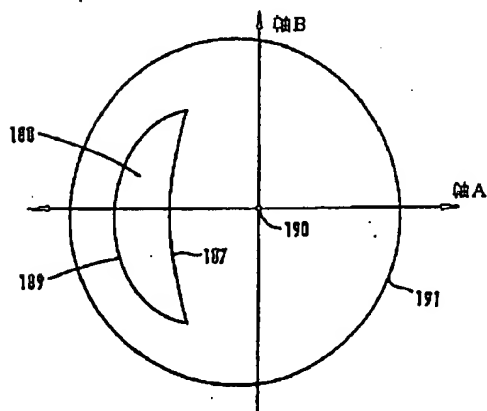
【图 13】



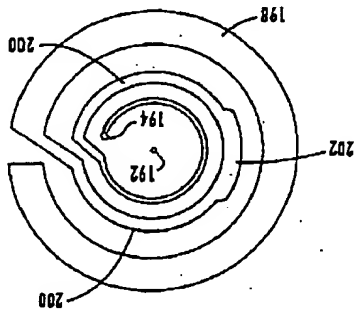
【図 15】



【图 1-4】



【図16】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 〃 識別記号

// C 2 3 C 16/50

F I

H 0 1 L 21/302

B

(72) 発明者 パーンス、マイケル エス.

アメリカ合衆国、カリフォルニア州

94147、サンフランシスコ、ビー、オー

ホックス 471182